

## Perancangan Sistem Pendeteksi Iregularitas Interval R-R Pada Sinyal Elektrokardiogram (Ekg) Sebagai Indikator Penyakit Kardiovaskular

Arnisa Stefanie<sup>1</sup>  
Insani Abdi Bangsa<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang<sup>1,2</sup>  
[arnisa.stefanie@staff.unsika.ac.id](mailto:arnisa.stefanie@staff.unsika.ac.id) , [labdi.bangsa@ft.unsika.ac.id](mailto:labdi.bangsa@ft.unsika.ac.id)<sup>1,2</sup>

### ABSTRAK

Jantung merupakan salah satu organ yang paling penting di tubuh manusia. Keabnormalan jantung dapat berimbas pada penyakit-penyakit organ tubuh lainnya. Salah satu keabnormalan jantung adalah timbulnya fibrilasi atrium (FA). Gejala FA dapat dianalisis dari gambaran elektrokardiogram (EKG) pasien, salah satunya dari iregularitas interval R-R pada EKG. Rancangan sistem untuk menghitung interval R-R telah banyak diteliti. Namun demikian, kebanyakan sistem dirancang pada domain digital yang, meskipun memiliki performa yang baik, memerlukan cost yang cukup tinggi dibandingkan dengan pengolahan sinyal pada domain analog. Karena itu, pada penelitian ini akan dirancang sistem pendeteksi iregularitas interval R-R pada EKG yang relatif sederhana sehingga mayoritas fungsional sistem dapat diimplementasikan pada domain analog. Hal ini akan mengurangi cost dari sistem seraya mempertahankan performa sistem yang relatif baik. Sistem yang dirancang akan dibagi menjadi tiga fase: pendeteksi kompleks QRS, penghitung interval R-R, dan pendeteksi iregularitas pada interval R-R. Pengujian akan dilakukan pada tiap fase sehingga penyebab kekurangan performa dapat dilokalisasi ke satu atau dua sistem secara akurat. Performa sistem pendeteksi sinyal R adalah 96,77% sedangkan performa dari sinyal pendeteksi iregularitas interval R-R adalah 84%.

**Kata Kunci:** *Elektrokardiogram, interval R-R, pengolahan sinyal biomedis.*

### PENDAHULUAN

Jantung merupakan salah satu organ vital yang ada pada tubuh manusia. Sebagai pemeran inti dalam sistem kardiovaskular, jantung berfungsi memompa dan mengalirkan darah dari/ke paru-paru dan juga seluruh tubuh. Darah kaya-oksigen yang berasal dari paru-paru dialirkan ke berbagai organ untuk memproduksi ATP sebagai sumber energi. Sebaliknya, darah minim-oksigen dialirkan ke paru-paru untuk kemudian diproses menjadi darah yang kaya oksigen. Karena itu, berbagai gangguan pada jantung dapat mengakibatkan gangguan pada organ tubuh lainnya.

Penyakit kardiovaskular merupakan penyakit tidak menular (PTM) penyebab kematian nomor satu di dunia. Penyakit-penyakit ini merupakan penyakit yang disebabkan oleh gangguan fungsi jantung dan pembuluh darah, antara lain

penyakit jantung koroner, gagal jantung, hipertensi, dan stroke. Di Indonesia, prevalensi penyakit jantung koroner, gagal jantung, dan stroke berdasarkan diagnosis/gejala berturut-turut pada tahun 2013 adalah 1,5%, 0,3%, dan 12,1%, atau setara dengan 2.650.340, 530.068, dan 2.137.941 orang. Prevalensi ini menyumbang 17,3 juta kematian [1].

Dari berbagai macam gejala yang berkaitan dengan penyakit kardiovaskular, gejala yang berkaitan erat dengan jantung koroner, gagal jantung, dan hipertensi adalah fibrilasi atrium (FA). FA dapat diamati berdasarkan hasil gambaran EKG, salah satunya adalah terdapatnya pola interval R-R yang ireguler. Dengan mendeteksi iregularitas pola interval R-R secara otomatis (beserta karakteristik lainnya pada EKG), dapat dirancang sebuah sistem yang dapat mendeteksi fibrilasi atrium. Dalam roadmap penelitian Teknik Elektro Uniska, perancangan sistem pendeteksi iregularitas ini merupakan langkah awal dalam membangun sebuah sistem yang dapat memberikan umpan balik berupa stimulasi elektrik kepada jantung ketika fibrilasi atrium terjadi.

Berbagai macam sistem pendeteksian dengan teknik pendeteksian yang berbeda-beda. Sadhukhhan dan Mitra pada [2] merancang algoritma deteksi sinyal R berdasarkan pengolahan interval R-R. Akhter, dkk pada [3] merancang sistem yang lebih efektif dalam mendeteksi iregularitas interval R-R dengan cara menghilangkan data ektopik dari EKG. Abdullah dan Abd pada [4] merancang sistem sederhana yang diimplementasikan pada FPGA. Sistem-sistem tersebut melakukan pengolahan pada domain digital dengan asumsi bahwa sinyal EKG masukan sudah bersih dan siap diolah. Walaupun lebih mudah diimplementasikan dalam bentuk coding dan menghasilkan performa yang baik, pengolahan sinyal dalam domain digital memerlukan cost yang tinggi dibandingkan dengan dalam domain analog (contohnya untuk penggunaan daya dan ukuran chip). Belum lagi, sinyal masukan harus tetap di-pre-process di domain analog terlebih dahulu sebelum dapat diolah di domain digital. Memindahkan fungsi mayoritas pengolahan sinyal untuk pendeteksian sinyal interval R-R dari domain digital ke analog dapat menghasilkan sistem yang lebih cost-efficient. Oleh karena itu, dibutuhkan rancangan sistem yang sederhana sehingga mayoritas fungsinya dapat diimplementasikan pada rangkaian analog.

Berdasarkan uraian di atas, dalam artikel ini akan dilakukan perancangan sistem pendeteksi iregularitas interval R-R pada elektrokardiogram. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih efektif dan efisien dalam pendeteksian iregularitas interval R-R untuk EKG.

## **I. PENELITIAN TERKAIT**

Sistem pengolahan interval R-R pada EKG telah banyak dirumuskan. Sadhukhhan dan Mitra [2] merancang algoritma untuk mendeteksi sinyal R dengan menggunakan double difference dan pengolahan interval R-R. Terdapat tiga fase pengolahan sinyal tersebut: pengurutan dan thresholding dari sinyal double difference kuadrat untuk mendeteksi kompleks QRS, perbandingan magnitudo relatif pada kompleks QRS untuk mendeteksi sinyal R, dan terakhir pengolahan interval R-R untuk memastikan deteksi sinyal R yang akurat.

Pada artikelnya, Akhter, dkk [3] melakukan peningkatan performa sistem pendeteksi interval R-R dengan cara mengoreksi data ektopik dari data denyut jantung dan variabilitas denyut jantung yang telah didapat. Pada data mentah

pengukuran denyut jantung secara real time, biasanya didapatkan banyak data yang berupa spike. Data-data ini dianggap sebagai denyut jantung ektopik dan harus dihilangkan sebelum diproses lebih lanjut.

Penghilangan data ektopik dilakukan dengan cara melihat denyut jantung sebelum spike terjadi. Denyut jantung tidak mungkin meningkat secara drastis dalam kurun waktu yang sangat singkat sehingga apabila data denyut jantung yang terekam lebih besar 10% atau 20% dari data denyut jantung sebelumnya, data tersebut dianggap ektopik dan akan dihilangkan. Data ektopik ini kemudian diganti dengan data rata-rata denyut jantung hasil pengukuran. Dengan melakukan proses ini, interval R-R dapat dideteksi dengan lebih akurat.

Abdullah dan Abd [4] merancang sistem yang diimplementasikan pada FPGA. Sistem ini dibagi menjadi tiga modul: data pre-processing, feature extraction, dan classification. Pertama-tama, sinyal masukan EKG di-pre-process, termasuk di dalamnya sampling dan kuantisasi sinyal ke 16-bit. Seluruh sampel disimpan di single port RAM. Kemudian, di modul feature extraction, terdapat sinyal kontrol pada mux yang mengendalikan keluaran modul: sampel sebelumnya, saat ini, dan akan datang. Ketiga sinyal keluaran akan diproses oleh modul classification yang mendeteksi apakah sinyal saat ini adalah sinyal R atau bukan dengan algoritma sebagai berikut.

**if** (sampel saat ini > sampel sebelumnya) **and**  
(sampel saat ini > sampel yang akan datang) **and**  
(sampel saat ini  $\geq 0.5$  dari sampel maksimum)  
**then** sampel saat ini adalah sinyal R

Modul ini kemudian menghitung denyut jantung dan variabilitas denyut jantung setiap sinyal R terdeteksi dengan formula

$$\text{denyut jantung (HR)} = 60 / (T2 - T1) \text{ detak per menit} \quad (1)$$

di mana T1 adalah waktu saat terjadi detak jantung pertama dan T2 adalah waktu saat terjadi detak jantung kedua. Variabilitas denyut jantung dihitung dengan formula

$$\text{variabilitas denyut jantung (HRV)} = (HR2 - HR1) / HR1$$

di mana HR1 dan HR2 adalah dua denyut jantung berurutan yang telah terdeteksi.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan sesuai dengan skema diagram alir pada Gambar 1.

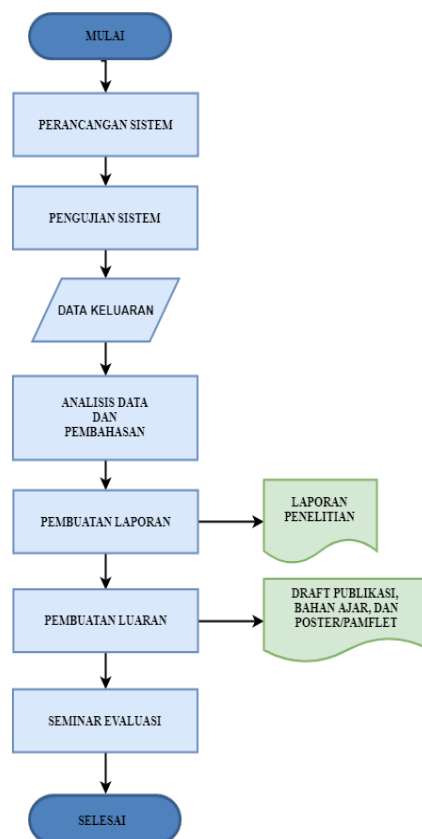
### B. Prosedur Penelitian

#### 1) Studi pustaka

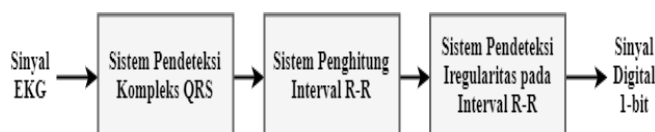
Tahap pertama yang dilakukan adalah pengumpulan referensi mengenai sistem-sistem dan algoritma pendeteksi interval R-R pada EKG.

## 2) Perancangan Sistem

Terdapat tiga tahap perancangan sistem yang dilakukan secara serial. Pada tahap pertama, dilakukan perancangan sistem yang dapat mendeteksi kompleks QRS pada tiap denyut jantung di EKG. Pada tahap kedua, dilakukan perancangan sistem yang dapat menghitung interval R-R (dalam satuan waktu) berdasarkan keluaran sistem pertama. Di tahap ketiga, dilakukan perancangan yang dapat mengenal pola perbedaan antara interval R-R yang reguler dan ireguler. Masukan sistem adalah sinyal EKG (pada kenyataan berada pada domain analog) dan keluaran sistem adalah sinyal digital 1-bit, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1 Diagram Alir Skema Penelitian



Gambar 2 Diagram Blok Sistem Pendeteksi Iregularitas Interval R-R

## 3) Pengujian Sistem dan Analisis Data

Setelah dirancang, sistem akan diuji dengan menggunakan berbagai macam sinyal EKG, baik normal maupun abnormal, yang didapatkan dari MIT-BIH ECG

database [5]. Data yang didapatkan dari pengujian akan dianalisis untuk menyimpulkan performa kerja sistem. Dengan menggunakan skema perancangan sistem yang kaskade seperti yang dijelaskan di atas, penyebab kekurangan performa dapat dilokalisasi ke satu atau beberapa sistem sehingga memungkinkan perancangan ulang hingga didapatkan hasil yang memuaskan. Hasil analisis data akan dibandingkan dengan sistem-sistem yang telah ada sebelumnya untuk disimpulkan. Metrik yang akan digunakan adalah

$$\text{Sensitivity} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \times 100\%, \quad (2)$$

di mana TP (true positive) adalah seberapa banyak iregularitas interval R-R yang terdeteksi oleh sistem, dan FN (false negative) adalah seberapa banyak interval R-R ireguler yang tidak terdeteksi oleh sistem.

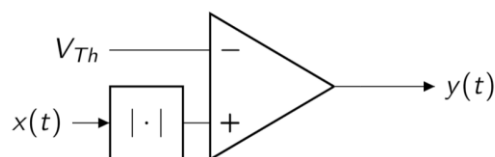
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Sistem Pendeteksi Kompleks QRS

Sistem pertama yang dirancang adalah sistem pendeteksi kompleks QRS. Terdapat dua buah algoritma yang dipilih untuk mendeteksi kompleks QRS, yaitu simple threshold detector atau Teo Energy Operator (TEO).

##### 1) Simple Threshold Detector

Tergantung lead yang digunakan, fase kompleks QRS dapat menjadi nilai minimum atau maksimum. Untuk mengatasi hal ini, dibutuhkan blok absolute value untuk menyamakan fase kompleks QRS. Keluaran blok ini kemudian dibandingkan dengan sebuah nilai threshold yang ditentukan berdasarkan besar nilai tertinggi dari sinyal EKG. Diagram Blok simple threshold detector diperlihatkan oleh Gambar 3.



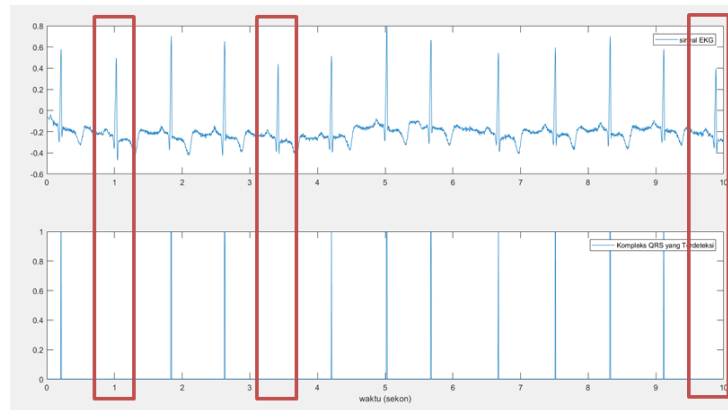
Gambar 3 Diagram Blok Simple Threshold Detector

Perbandingan antara masukan dan keluaran algoritma/sistem tersebut diperlihatkan oleh Gambar 4.

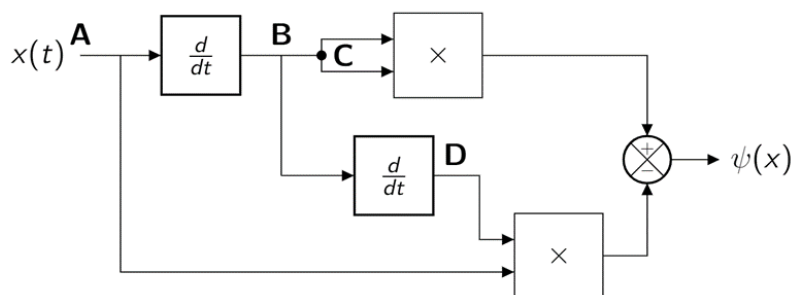
Masukan berupa sinyal EKG dengan baseline berjalan (wandering baseline) berdurasi 10 sekon dari penderita aritmia. Dapat dilihat bahwa, karena baseline sinyal berubah-ubah, tidak seluruh kompleks QRS dapat dideteksi. Dari 13 kompleks QRS yang tercatat, terdeteksi 10 buah.

Uji coba performa sistem dilakukan pada sinyal EKG berdurasi 50 sekon. Didapatkan TP (true positive)=41 dan FN (false negative)=21. Sensitivitas dari algoritma ini adalah:

$$\text{Sensitivity} = 41 / 62 \times 100\% = 66,13\%. \quad (3)$$



Gambar 4 Plot Masukan-Keluaran Simple Threshold Detector



Gambar 5 Diagram Blok Teager Energy Operator (TEO)

#### 1) Teager Energy Operator (TEO)

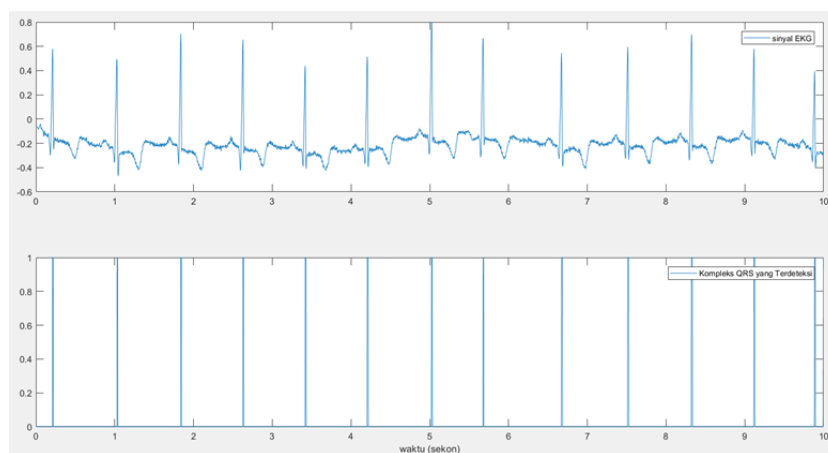
Teager Energy Operator (TEO) adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk menghitung energi yang diperlukan untuk memproduksi sebuah sinyal [6]. TEO waktu-diskrit didefinisikan sebagai

$$\psi(x) = x^2(n) - x(n-1)x(n+1) \quad (4)$$

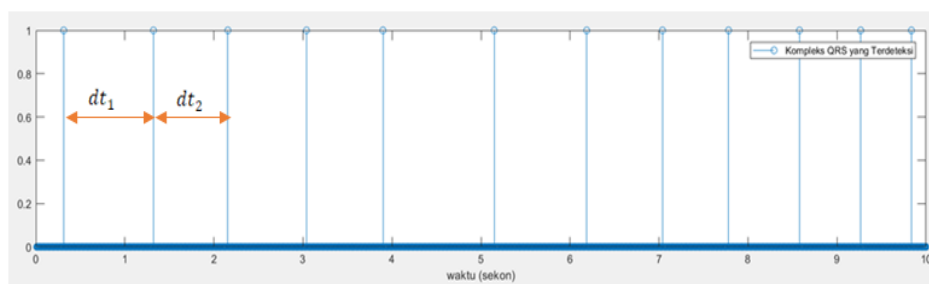
di mana  $\psi(x)$  adalah keluaran TEO dan  $x(n)$  adalah sinyal masukan.

Keluaran TEO tidak hanya dipengaruhi oleh amplitudo sinyal, tetapi juga “keaktifan”-nya. Artinya, sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi akan menghasilkan keluaran TEO yang lebih besar dibandingkan dengan sinyal yang kurang “aktif”. Diagram blok TEO diperlihatkan oleh Gambar 5. TEO telah digunakan sebelumnya sebagai algoritma untuk mendeteksi terjadinya potensial aksi (AP) di sel neuron [7]. Karena itu, mengingat kompleks QRS juga memiliki amplitudo dan frekuensi yang paling tinggi dibandingkan bagian lainnya pada sinyal EKG, TEO

dapat digunakan untuk mendeteksi terjadinya kompleks QRS pada sinyal EKG



Gambar 6 Plot Masukan-Keluaran Teager Energy Operator (TEO)



Gambar 7 Rentang Waktu  $dt_1$  dan  $dt_2$  yang Dihitung oleh Sistem Penghitung Interval R-R

Ujicoba performa sistem dilakukan pada sinyal EKG berdurasi 50 sekond. Didapatkan TP (true positive)=60 dan FN (false negative)=2. Sensitivitas dari algoritma ini adalah:

$$\text{Sensitivity} = 60/62 \times 100\% = 96,77\%. \quad (5)$$

#### B. Sistem Penghitung Interval R-R

Untuk menghitung interval R-R, *time-to-digital converter* untuk menghitung rentang waktu antar kompleks QRS. Rentang waktu antara kompleks QRS pertama dan QRS kedua disebut  $dt_1$  dan rentang waktu antara kompleks QRS kedua dan ketiga disebut  $dt_2$ , seperti diperlihatkan pada Gambar 7.  $dt_1$  dan  $dt_2$  disimpan untuk kemudian dibandingkan di sistem selanjutnya.

#### C. Sistem Pendeteksi Iregularitas pada Interval R-R

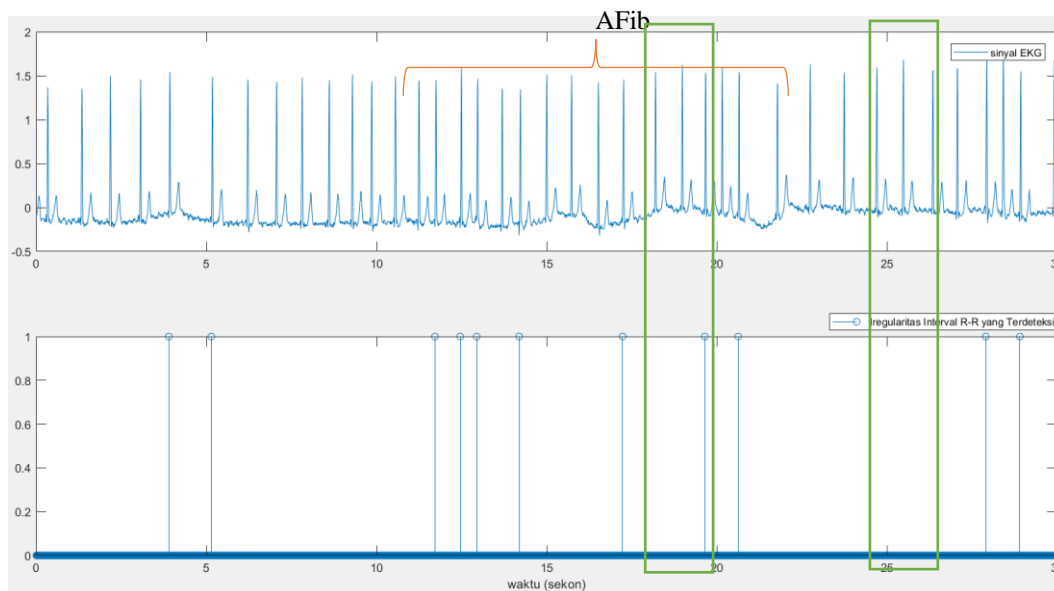
Sistem ini menerima masukan berupa  $dt_1$  dan  $dt_2$  yang telah diolah oleh sistem penghitung interval R-R. Kedua nilai dibandingkan. Ide dari sistem ini adalah:

iregularitas interval R-R terjadi ketika perbedaan rentang waktu dari tiga kompleks QRS yang berdekatan tidak sama. Dengan kata lain, sistem akan menghasilkan keluaran logika “1” ketika  $dt1$  dan  $dt2$  memiliki perbedaan yang signifikan.

Nilai  $r$  dapat dipilih sebagai jarak maksimum antara  $dt1$  dan  $dt2$ . Jika jarak  $dt1$  dan  $dt2$  lebih dari atau sama dengan  $r$ , sistem akan menghasilkan logika “1”. Sebaliknya, jika jarak  $dt1$  dan  $dt2$  kurang dari  $r$ , sistem akan menghasilkan logika “0”. Secara matematis, keluaran dari sistem pendeteksi iregularitas pada interval R-R, out, dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{out} = H(|dt2 - dt1| - r) \quad (6)$$

$H(\cdot)$  adalah fungsi Heaviside step yang menghasilkan “1” ketika  $(\cdot)$  bernilai lebih dari atau sama dengan 0, dan “0” untuk nilai lainnya. Dengan membandingkan hanya dua nilai, dibutuhkan memori yang minimum sehingga sistem yang sederhana dapat diimplementasikan. Gambar 8 memperlihatkan sinyal EKG selama 30 s dari penderita fibrilasi atrium (atas) dan iregularitas interval R-R yang dideteksi oleh sistem (bawah) dengan  $r=0,2$ . Dapat terlihat (kotak hijau) bahwa terdapat beberapa iregularitas interval R-R yang tidak terdeteksi oleh sistem.



Gambar 8 (Atas) Sinyal EKG dari Penderita Fibrilasi Atrium (FA), dan (bawah) Iregularitas Interval R-R yang dideteksi oleh Sistem untuk  $r=0,2$

Performa sistem ditentukan berdasarkan banyaknya TP dan FN. Adapun TP dan FN didapatkan dari hasil konsultasi dengan tenaga ahli. Sistem diuji coba pada rekaman sinyal EKG dari penderita fibrilasi atrium selama 60 detik.



Terdapat 21 TP dan 4 FN. Dengan demikian, performa sistem, dihitung berdasarkan sensitivitasnya, adalah

$$\text{Sensitivity} = 21/25 \times 100\% = 84\%. \quad (7)$$

Sensitivitas sistem dapat berubah tergantung dari besar  $r$ . Oleh karena itu, diperlukan uji coba  $r$  berkali-kali hingga didapatkan performa yang optimum. Hal ini juga harus dilakukan untuk rekaman sinyal EKG yang berbeda (dengan kata lain, subjek yang berbeda).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan penjelasan dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Teager Energy Operator (TEO) merupakan algoritma yang dapat digunakan untuk mendeteksi kompleks QRS secara sederhana dan efektif. Tergantung threshold yang ditentukan, sensitivitas sistem dapat mencapai 99,77%; dan
2. iregularitas interval R-R dapat dideteksi dengan cara membandingkan rentang waktu dari tiga kompleks QRS terhadap suatu nilai  $r$  tertentu. Tergantung dari nilai  $r$  yang ditentukan, sensitivitas sistem dapat mencapai 84%.

##### B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk keberlanjutan penelitian ini adalah:

1. dilakukan uji perbandingan performa (sensitivitas dan false positive value) terhadap SNR (signal-to-noise ratio);
2. dilakukan penelitian mengenai perancangan algoritma pendeteksi fibrilasi atrium (FA) yang memberikan peringatan saat FA terjadi pada subjek; dan
3. dilakukan penelitian mengenai perancangan algoritma pendeteksi aritmia reguler, seperti takikardia dan/atau bradikardia.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Universitas Singaperbangsa Karawang yang telah mendanai penelitian ini, dan juga terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI, "Situasi Kesehatan Jantung," Jakarta, 2014.
- [2] D. Sadhukhhan and M. Mitra, "R-peak detection algorithm for ECG using double difference and RR interval processing," *Procedia Technology*, pp. 873-877, 2011. Perhimpunan Dokter Spesialis Kardiovaskular Indonesia, "Pedoman Tata Laksana Fibrilasi Atrium," 2014.

- [3] N. Akhter, G. Hanumant, S. Tharewal and K. Kale, "Computer Based RR-Interval Detection System with Ectopy Correction in HRV Data," in International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Kerala Kochi, 2015.
- [4] H. Abdullah and B. Abd, "A Simple FPGA System for ECG R-R Interval Detection," in IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Hefei, 2016.
- [5] A. Goldberger, L. Amaral, L. Glass, J. Hausdorff, P. Ivanov, R. Mark, J. Mietus, G. Moody, C.-K. Peng and H. Stanley, "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals," *Circulation*, pp. e215-e220, 2000.
- [6] J. F. Kaiser, "On a Simple Algorithm to Calculate the "Energy" of a Signal," in International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1990.
- [7] S. Hiseni, C. Sawigun and W. A. Serdijn, "Dynamic translinear nonlinear energy operator," in 2009 European Conference on Circuit Theory and Design, 2009.